

Informe final* del Proyecto FQ004

Monitoreo de la condición trófica de la columna agua de los ambientes costeros del Parque Nacional Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Punta Nizúc: Primera Etapa

Responsable:	Dr. Jorge Alfredo Herrera Silveira
Institución:	Instituto Politécnico Nacional Centro de Investigación y de Estudios Avanzados-Mérida Departamento de Recursos del Mar
Dirección:	Carretera Antigua a Progreso Km 6, Cordemex, Mérida, Yuc, 97310 , México
Correo electrónico:	jherrera@mda.cinvestav.mx
Teléfono/Fax:	Tel: (999) 1242162 Fax: (999) 9812334
Fecha de inicio:	Junio 29, 2007
Fecha de término:	Septiembre 30, 2008
Principales resultados:	Hoja de cálculo, Informe final.
Forma de citar** el informe final y otros resultados:	Herrera Silveira, J. A., Cortés Balán, T. O., Ramírez Ramírez, y I. Osorio. 2008. Monitoreo de la condición trófica de la columna agua de los ambientes costeros del Parque Nacional Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Punta Nizúc: Primera Etapa. Instituto Politécnico Nacional. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados-Mérida. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. FQ004 . México D. F.
Forma de citar Hoja de cálculo	Herrera Silveira, J. A., Cortés Balán, T. O., Ramírez Ramírez, y I. Osorio. 2008. Monitoreo de la condición trófica de la columna agua de los ambientes costeros del Parque Nacional Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Punta Nizúc: Primera Etapa. Instituto Politécnico Nacional. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados-Mérida. Hoja de cálculo SNIB-CONABIO proyecto No. FQ004 . México D. F.

Resumen:

El Parque Nacional "Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Punta Nizúc" (Parque Cancún), incluye diferentes ecosistemas costeros que incluyen praderas de pastos marinos, aguas costeras someras, lagunas arrecifales, aguas marinas y arrecifes de coral, los cuales se encuentran entre los de mayor presión por turismo y sujeto a múltiples fuente de impacto. Debido a que el elemento natural que domina en el Parque es el agua, y que este es el medio por el cual se dispersan las larvas de peces, crustáceos, corales etc., además de todo tipo de contaminantes, es de interés para las autoridades del Parque contar con la información básica para aplicar acciones de manejo o seguimiento que favorezcan la tarea de conservación. Con el conocimiento de los antecedentes de contaminación orgánica (eutrofización) de algunos de los ecosistemas acuáticos adyacentes al Área Natural (Laguna Bojórquez), se consideró necesario generar el marco de referencia básico de calidad del agua de los polígonos del Parque, con lo cual se apoyen acciones tendientes a favorecer la calidad del agua, no sólo para mantener las actividades náutico-turísticas de la zona, sino con énfasis en la integridad de los procesos ecológicos responsables de la alta biodiversidad de los sistemas acuáticos del Parque Cancún. Dado que se cuenta con información de 4 años sobre variables hidrológicas de los 3 polígonos del Parque, se propone en este proyecto: Hacer el análisis de esa información para llegar a la caracterización, y diagnóstico de acuerdo a su estado trófico, continuar con el seguimiento a través de muestreos durante un ciclo anual, elaborar el Plan de monitoreo específico e implementarlo con muestreos estacionales y específicos durante 6 años. Todas estas tareas en coordinación y colaboración con personal del Parque.

-
- * El presente documento no necesariamente contiene los principales resultados del proyecto correspondiente o la descripción de los mismos. Los proyectos apoyados por la CONABIO así como información adicional sobre ellos, pueden consultarse en www.conabio.gob.mx
 - ** El usuario tiene la obligación, de conformidad con el artículo 57 de la LFDA, de citar a los autores de obras individuales, así como a los compiladores. De manera que deberán citarse todos los responsables de los proyectos, que proveyeron datos, así como a la CONABIO como depositaria, compiladora y proveedora de la información. En su caso, el usuario deberá obtener del proveedor la información complementaria sobre la autoría específica de los datos.



CINVESTAV-IPN



CONABIO

Nombre del proyecto:

“MONITOREO DE LA CONDICIÓN TRÓFICA DE LA COLUMNA
DEL AGUA DE LOS AMBIENTES COSTEROS DEL PARQUE
MARINO COSTA OCCIDENTAL DE ISLA MUJERES, PUNTA
CANCÚN Y PUNTA NIZUC: PRIMERA ETAPA”.

**Proyecto FQ004
Informe Final**

Coordinador Técnico del Proyecto:

Dr. Jorge A. Herrera Silveira

Participantes:

M. en C. T. Octavio Cortés Balán.

Biol. Javier Ramírez Ramírez.

M. en C. Iliana Osorio.

Abril 2009

CONTENIDO ÍNDICE	PÁGINA
1. Introducción	3
2. Antecedentes	5
3. Métodos	7
4. Resultados	12
4.1. Monitoreo	12
4.1.1. Isla Mujeres	13
4.1.1.1. Estaciones marinas	13
4.1.1.2. Estaciones costeras	14
4.1.2. Punta Cancún	15
4.1.2.1. Estaciones marinas	15
4.1.2.2. Estaciones costeras	16
4.1.3. Punta Nizuc	17
4.1.3.1. Estaciones marinas	17
4.1.3.2. Estaciones costeras	18
4.2. Diagnostico	19
4.2.1. Isla Mujeres	20
4.2.2. Punta Cancún	22
4.2.3. Punta Nizuc	24
5. Conclusiones	26
6. Literatura citada	28

1. Introducción

Las características geohidrológicas, oceanográficas y ecológicas regionales de la Península de Yucatán (PY), han favorecido a: que tenga un acuífero muy vulnerable a la contaminación de todo tipo, que esta contaminación tenga como destino final las costas, y que los ecosistemas que ofrecen múltiples servicios ambientales a la sociedad hayan sido impactados o estén en riesgo de serlo. Ejemplos de esto se reflejan en cambios de calidad del agua en lagunas costeras y en la zona marina de diferentes puntos de la PY (Herrera-Silveira, 2006), aumento en la frecuencia de los florecimientos algales nocivos “mareas rojas” (Álvarez-Góngora *et. al.*, 2006), cambios de la vegetación acuática sumergida (Carruthers, *et. al.*, 2005; Herrera-Silveira *et. al.*, 2008), y aumento de macroalgas sobre los arrecifes de coral (Huitron, com. pers., 2008).

Uno de los principales usos que se desprende de los servicios ambientales que ofrecen los ecosistemas costeros de la PY, y en especial del estado de Quintana Roo es el turismo, el cual esta basado en el atractivo escénico de sus playas y belleza de sus aguas, y a lo cual habría que agregar a los arrecifes de coral que mucho dependen de la calidad de estas aguas.

Sin embargo, el agua por ser un elemento que se encuentra en continuo movimiento tanto vertical como horizontal, se convierte en un componente de conectividad entre los ecosistemas, y en el caso de la PY es mucho más notorio. En lo general, el proceso se inicia con las precipitaciones que se infiltran rápidamente al acuífero debido a la naturaleza cárstica del sustrato de la PY. Durante esta infiltración el agua transporta los contaminantes de las aguas residuales de las actividades agropecuarias, desarrollos urbanos y turísticos, ya que la gran mayoría de la infraestructura de estas actividades y desarrollos no cuenta con sistemas de tratamiento de sus aguas residuales. Ya en el acuífero el agua sigue la trayectoria hacia mar, descargando en los ecosistemas de la zona costera tanto en forma difusa a través de fracturas de la roca, como a través de manantiales costeros (Fig. 1).

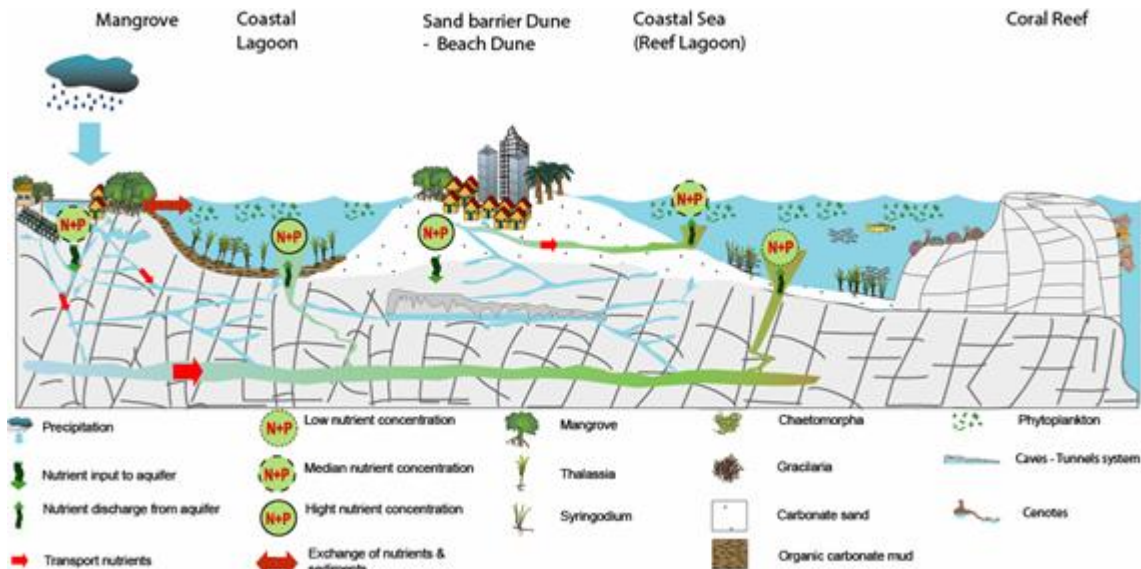


Figura 1. Diagrama conceptual de las variables y procesos tanto de causa como de efecto del deterioro de la calidad del agua en costas del Caribe mexicano.

En el caso específico de la zona de Cancún, debido a los indicios de impacto principalmente en el sistema lagunar Nichupté-Bojórquez y a las intensas actividades en zonas específicas de la costa de Cancún e Isla Mujeres, se decidió por parte de la SEMARNAT la creación del Parque Marino Nacional Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Punta Nizuc (1996), cuyo objetivo principal es la de coadyuvar al manejo sustentable de la zona.

Debido a que el elemento natural que domina es el agua, y que no se contaba con la información básica para aplicar acciones de manejo o seguimiento que favorezcan esa tarea de desarrollo sustentable, y con el conocimiento de los antecedentes de contaminación orgánica de algunos de los ecosistemas acuáticos adyacentes al parque (Reyes y Merino, 1991), se consideró necesario generar el marco de referencia básico para apoyar las acciones que permitan ofrecer la calidad del agua suficiente, no sólo para mantener las actividades náutico-turísticas de la zona, sino con énfasis en la integridad de los procesos ecológicos responsables de la riqueza de flora y fauna de los sistemas acuáticos del Parque Marino (Cortés 2006).

La calidad del agua se determina al identificar una serie de características, que están asociadas con los contaminantes o con procesos que sirven como indicadores para poder calificarla, todo ello para determinar los valores máximos permisibles que ejerzan presión a la vida acuática o que permita al ser humano emplear el agua para su uso y

consumo, cualquiera que éste sea (recreativo, agrícola, industrial, consumo ó contacto directo, etc.) (Herrera-Silveira *et. al.*, 1998).

En el caso específico del Parque Marino de Cancún, diferentes indicadores señalan los riesgos al deterioro de la calidad del agua, principalmente por aportes de nutrientes inorgánicos disueltos que favorecen al proceso de eutrofización (Herrera-Silveira *et. al.*, 2008).

Las consecuencias generalizadas de la eutrofización a nivel ecológico han sido: la pérdida de superficie de pastos marinos, incremento de clorofila-a, proliferación de macroalgas o epífitos sobre los pastos, reducción de luz de la columna de agua, cambios de comunidades planctónicas dominadas por diatomeas a dominadas por flageladas, reducción de vegetación acuática sumergida, bajo nivel de oxígeno disuelto, florecimientos masivos de fitoplancton que en algunas ocasiones puede ser nocivo, con lo cual se trasladan sus efectos a la calidad del agua, a la trama trófica y pesquerías, con cambios en repartición de producción primaria, por ultimo las consecuencias no deseadas llegan a la población humana en forma de enfermedades infecciosas (Eipstein, 1998).

Los objetivos de este programa el cual inicio en 2001 con apoyos del CONACYT y de la CONANP a través del Parque Marino, y ahora con recursos de la CONABIO, son los de llevar a cabo la caracterización, el diagnóstico y dar seguimiento al monitoreo de la calidad del agua de los Polígonos del Parque Marino. La caracterización y diagnóstico se pueden revisar en Herrera-Silveira *et. al.*, (2008a), mientras que en el presente documento se realiza el monitoreo. Este documento puede ser de utilidad como marco metodológico y antecedente para otras áreas costeras, sean éstas protegidas o no, con lo cual se coadyuvaría a la definición de las acciones de conservación, saneamiento, rehabilitación, y en última instancia de manejo sustentable de áreas costeras expuestas a uso turístico intensivo con bases técnicas sólidas.

2. Antecedentes

El estudio de calidad del agua de los polígonos del Parque Marino Nacional Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Punta Nizuc, se inició en el año 2001 a través del proyecto denominado: *Hidrología y Calidad del agua del Parque Marino Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Punta Nizuc, Quintana Roo.*, bajo el financiamiento del SISIERRA-CONCyT. En este proyecto los muestreos fueron bimensuales durante un ciclo anual (enero a noviembre), en cuyas estaciones de muestreo se midieron variables físicas y químicas tales como: salinidad, temperatura,

transparencia, fluorescencia (clorofila-a “in vivo”) y adicionalmente al muestreo de las variables antes mencionadas, se tomaron muestras superficiales de cada una de las estaciones previamente establecidas con el fin de conocer las concentraciones de nutrientes inorgánicos disueltos y clorofila-a de la columna de agua, con esta información se procedió a identificar el estado trófico de cada uno de los polígonos que conforman el Parque Marino de Cancún.

El seguimiento de las características del agua e indicadores de la condición trófica de los polígonos del Parque Marino de Cancún, se han realizado a través de proyectos de calidad del agua y de pastos marinos apoyados por la CONANP a través del Parque Marino, por lo que considerando todos los muestreos que se han realizado, el grupo de trabajo del Laboratorio de Producción Primaria del CINVESTAV-IPN, Unidad Mérida, cuenta con 32 muestreos por polígono, **este informe incluye información de las épocas de nortes, secas y lluvias del 2007 y 2008**, el número de estaciones por polígono ha sido de: 15 estaciones en Isla Mujeres (12 costeras y 3 marinas), 18 estaciones en Punta Cancún (8 costeras y 10 marinas) y 16 estaciones en Punta Nizuc (10 costeras y 6 marinas), el número total de muestras analizadas es de >1390 y el número total de análisis que se han realizado hasta la fecha es de >15,800.

El parque Marino se localiza en la Península de Yucatán, al noreste del Estado de Quintana Roo, frente a las costas de los municipios de Isla Mujeres y Benito Juárez, dentro de las aguas marinas costeras del Mar Caribe, con una superficie de 8,673 hectáreas distribuidas en tres polígonos. En cada polígono del Parque Marino Nacional Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Punta Nizuc se establecieron redes de estaciones poniendo énfasis en las zonas de mayor interés ecológico y recreativo (áreas costeras). En el polígono Isla Mujeres se tuvieron 15 estaciones, en el polígono de Punta Cancún 18 estaciones y en el polígono de Punta Nizuc 16 estaciones (Fig. 2), todas ellas georeferenciadas.

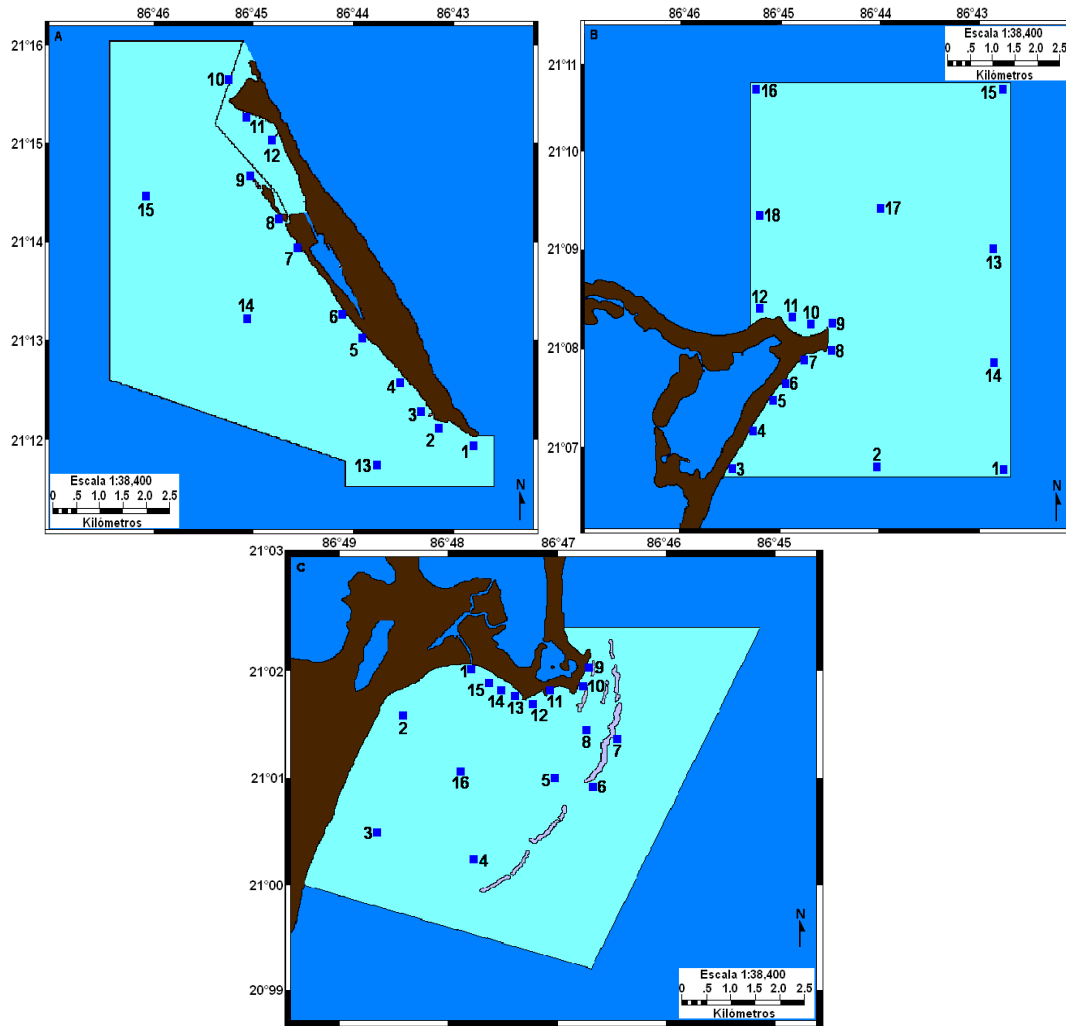


Figura 2. Ubicación de las estaciones discretas en los polígonos a) Isla Mujeres, b) Punta Cancún y c) Punta Nizuc del Parque Cancún.

3. Métodos

Se realizaron mediciones “in situ” de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto con una sonda multiparámetrica YSI 6600 (Fig. 3) y el coeficiente de extinción de luz con un irradiómetro Licor LI-1000 con sensor esférico. Por otra parte se tomaron muestras de agua (2 litros) a nivel superficial con una botella tipo VanDorn. Esta muestra se empleó para las determinaciones de las concentraciones de nutrientes inorgánicos disueltos y clorofila-a, ya que estas variables han demostrado su importancia como descriptoras de las condiciones de estado trófico de los polígonos durante el desarrollo de los diferentes proyectos. Cada muestra fue transferida a botellas de plástico inerte color ámbar conservándolas en frío hasta su análisis en el laboratorio.



Figura 3. Sonda multiparámetrica YSI 6600.

En el laboratorio se procedió a filtrar 1 litro de agua en membranas Millipore de 0.45 μm de tamaño de poro para la determinación de clorofila-a. El volumen filtrado se empleó para los análisis de nutrientes que serán todos ellos de tipo colorimétrico utilizando un espectrofotómetro (en nuestro caso fue Spectronic Genesys 2) (Fig. 4) de ancho de banda de 2 nm.



Figura 4. Espectrofotómetro Spectronic Genesys 2

Las técnicas para los análisis de laboratorio han sido ampliamente utilizadas en investigación y monitoreo de zonas costeras, forman parte de los análisis que la EPA de E.U.A., hace para la determinación de calidad del agua de sus ecosistemas costeros. La descripción detallada de las técnicas de análisis se pueden encontrar en Strickland y Parsons (1972) y en Parsons *et. al.*, 1984, a continuación se hace una descripción general:

Amonio (NH_4): por el método que se basa en la formación de color azul por la reacción de hipoclorito de sodio y fenol con el amonio en un medio alcalino en presencia de nitroprusiato de sodio, como catalizador, esta reacción es de mucha sensibilidad permitiendo detectar valores de hasta 0.1 $\mu\text{mol/l}$. La extinción del azul de indofenol

formado con el amonio se mide por espectrofotometría a 640 nm utilizando una celda de 1 cm.

Nitratos (NO_3): de acuerdo al método de reducción a nitritos, la cual se lleva a cabo al pasar la muestra a través de una columna de cadmio-cobre (Fig. 5). Una vez que se hayan reducido los nitratos se lleva a cabo la diazotización con sulfanilamida y naftil para formar el colorante azoico de los nitritos, esta reacción es de mucha sensibilidad permitiendo detectar valores de hasta $0.05 \mu\text{mol/l}$, cuya extinción se mide espectrofotométricamente utilizando una celda de 1 cm a 543 nm de longitud de onda.

Nitritos (NO_2): por medio del método de la formación de un color rosa producido a un pH de 2.0 a 2.5 por el acoplamiento del ácido sulfanílico diazotizado con N (1-Naftil) etilendiamina diclorhidratado, esta reacción es de mucha sensibilidad permitiendo detectar valores de hasta $0.01 \mu\text{mol/l}$, cuya extinción se mide espectrofotométricamente utilizando una celda de 1 cm a 543 nm de longitud de onda.

El **fósforo reactivo soluble** (fosfato) (PO_4): se determina según el método basado en la reacción de estos compuestos con el molibdato de amonio en un medio ácido, continuando con una reducción del ácido fosfomolibdico a través de una mezcla de ácido ascórbico y tártrato de antimonio y potasio. El color desarrollado es azul y su intensidad está en función de la concentración de fosfatos, esta reacción es de mucha sensibilidad permitiendo detectar valores de hasta $0.03 \mu\text{mol/l}$. La extinción de molibdato azul se mide con el espectrofotómetro a 885 nm.

La determinación de **silicato** (SiO_4) en el agua se basa en la formación del ácido silicomolibdico, que al igual que el fosfato, cuando una muestra es tratada con reactivo de molibdato en un medio ácido, se forma un complejo químico que desarrolla color azul que es proporcional a la concentración de sílice, esta reacción es de mucha sensibilidad permitiendo detectar valores de hasta $0.1 \mu\text{mol/l}$. La extinción se mide espectrofotométricamente a 810 nm con una celda de 1 cm.



Figura 5. Método de reducción a nitritos a través de una columna de cadmio-cobre.

Los análisis de la **clorofila-a** (Cl-a) en la columna de agua se propone se realicen por medio de la extracción con acetona al 90% de acuerdo a las descripciones de Jeffrey *et. al.*, 1997, cuya técnica incluye entre algunos pasos, los filtros de ester celulosa que se solubilizan con 10 ml de acetona al 90% (Fig. 6) en unos tubos para centrifuga con tapa de rosca, después se dejan reposar durante 24 horas en la oscuridad y posteriormente se centrifugan a 2,500 rpm durante 15 minutos (Fig. 7). A continuación con la ayuda de una pipeta Pasteur se llenan las celdas de cuarzo de 1 cm de paso de luz y se lee la absorbancia de cada muestra a las siguientes longitudes de onda: 750, 663, 664, 665, 647, 645, 630, 510, 480 y 430 nanómetros, con un espectrofotómetro marca Spectronic modelo Génesis 2 (Fig. 8).



Figura 6. Colocación de filtros de ester celulosa con acetona al 90% para la extracción de la clorofila-a.



Figura 7. Colocación de tubos con muestras de clorofila-a en la centrifuga.



Figura 8. Espectrofotómetro donde se realiza la lectura de absorbancias.

Considerando las recomendaciones de la Agencia de Protección al Ambiente de los Estados Unidos de América (EPA 1992), en el caso de los Polígonos del Parque Marino de Cancún, estos valores de referencia se estimaron de la siguiente manera: con los datos colectados en cada polígono durante el periodo de estudio (2001-2005), se procedió a calcular la mediana, el primer y el tercer cuartil de cada una de las variables analizadas, lo que dio como resultado los valores de referencia para las estaciones marinas y costeras de los polígonos de Isla Mujeres, Punta Cancún y Punta Nizuc, los cuales se pueden observar en las tablas 1 a la 6. En el caso específico del oxígeno disuelto el primer cuartil se considera como malo ■, los valores comprendidos entre el primer y tercer cuartil incluyendo la mediana se considera normal ■, y el tercer cuartil se considera bueno ■, para las variables como Nitrógeno Orgánico Disuelto (DIN), Fósforo Reactivo Soluble (FRS), Sílice Reactivo Soluble (SiRS) y Clorofila-a (Cl-a), el primer cuartil se considera como bueno ■, los valores comprendidos entre el primer y tercer cuartil incluyendo la mediana se considera normal ■ y el tercer cuartil se considera malo ■.

Tabla 1. Valores de Referencia de las estaciones marinas del polígono Isla Mujeres.

	1er Cuartil	Mediana	3er Cuartil
Oxígeno Disuelto (mg/l)	< 3	3 - 7	> 7
DIN (µmol/l)	< 1.76	1.7 - 3.0	> 3
FRS (µmol/l)	< 0.06	0.06 - 0.2	> 0.2
SiRS (µmol/l)	< 0.8	0.8 - 5.6	> 5.6
Cl-a (mg/m³)	< 0.23	0.23 - 0.33	> 0.33

Tabla 2. Valores de Referencia de las estaciones costeras del polígono Isla Mujeres.

	1er Cuartil	Mediana	3er Cuartil
Oxígeno Disuelto (mg/l)	< 3	3 - 7	> 7
DIN (µmol/l)	< 3	3 - 4.4	> 4.4
FRS (µmol/l)	< 0.16	0.16 - 0.24	> 0.24
SiRS (µmol/l)	< 2.5	2.5 - 8.3	> 8.3
Cl-a (mg/m³)	< 0.3	0.3 - 0.6	> 0.6

Tabla 3. Valores de Referencia de las estaciones marinas del polígono Punta Cancún.

	1º Cuartil	Mediana	3º Cuartil
Oxígeno Disuelto (mg/l)	< 3	3 - 7	> 7
DIN (µmol/l)	< 3	3 - 4	> 4
FRS (µmol/l)	< 0.04	0.04 - 0.07	> 0.07
SiRS (µmol/l)	< 1.4	1.4 - 2.5	> 2.5
Cl-a (mg/m³)	< 0.2	0.2 - 0.3	> 0.3

Tabla 4. Valores de Referencia de las estaciones costeras del polígono Punta Cancún.

	1º Cuartil	Mediana	3º Cuartil
Oxígeno Disuelto (mg/l)	< 3	3 - 7	> 7
DIN (µmol/l)	< 3.8	3.8 - 5.6	> 5.6
FRS (µmol/l)	< 0.04	0.04 - 0.15	> 0.15
SiRS (µmol/l)	< 1.7	1.7 - 4	> 4
Cl-a (mg/m³)	< 0.25	0.25 - 0.4	> 0.4

Tabla 5. Valores de Referencia de las estaciones marinas del polígono Punta Nizuc.

	1° Cuartil	Mediana	3° Cuartil
Oxígeno Disuelto (mg/l)	< 3	3 - 7	> 7
DIN (µmol/l)	< 2.5	2.5 - 5	> 5
FRS (µmol/l)	< 0.1	0.1 - 0.2	> 0.2
SiRS (µmol/l)	< 2.15	2.15 - 6.5	> 6.5
Cl-a (mg/m³)	< 0.25	0.25 - 0.35	> 0.35

Tabla 6. Valores de Referencia de las estaciones costeras del polígono Punta Nizuc.

	1° Cuartil	Mediana	3° Cuartil
Oxígeno Disuelto (mg/l)	< 3	3 - 7	> 7
DIN (µmol/l)	< 6	6 - 8	> 8
FRS (µmol/l)	< 0.1	0.1 - 0.25	> 0.25
SiRS (µmol/l)	< 3	3 - 8.5	> 8.5
Cl-a (mg/m³)	< 0.3	0.3 - 0.4	> 0.4

De acuerdo a los intervalos de referencia específico para cada variable, se considero importante el resultado de este análisis como una regla de decisión.

4. Resultados

4.1. Monitoreo

Este informe final incluye los muestreos realizados en las épocas climáticas de nortes, secas y lluvias de 2007 y 2008.

Al analizar los resultados de las variables en las diferentes épocas climáticas en los años de muestreo en los diferentes polígonos: Isla Mujeres (Figs. 9 y 10), Punta Cancún (Figs. 11 y 12) y Punta Nizuc (Figs. 13 y 14), y al comparar con los valores de referencia se observó que existe un alto grado de sensibilidad en estos intervalos, además de que confirma que las técnicas empleadas son apropiadas y sobre todo robustas y confiables, ya que se pudieron detectar los cambios que se están dando en las diferentes épocas y años de muestreo.

De acuerdo a los intervalos de referencia, sólo en algunos muestreos se rebasa el límite máximo, ya que en general, los valores de las distintas variables de los polígonos se mantienen entre los límites que definen una condición “regular” y “buena” del agua de acuerdo a los valores de referencia específicos para cada sitio (Tablas 1 a 6).

En general, se observa que en los tres polígonos hay un patrón de variación estacional de las concentraciones de las diferentes variables, decremento de Oxígeno Disuelto, el aumento de las concentraciones de Nitrógeno Inorgánico Disuelto (DIN), Fósforo Reactivo soluble (FRS), Sílice Reactivo soluble (SiRS) y Clorofila-a (Cl-a) y el aporte de nutrientes vía descargas de las lagunas interiores o filtraciones de la infraestructura turística.

A continuación se describen los cambios relevantes de la variación temporal y podrán servir de referencia en el programa de monitoreo.

4.1.1. Isla Mujeres

4.1.1.1. Estaciones marinas

El oxígeno disuelto presentó una condición de normal en todas las épocas climáticas de 2007 y 2008 (Fig. 9a). El DIN presentó una disminución en las épocas de nortes y lluvias de normal (2007) pasando a bueno en ambas épocas para 2008 y en la época de secas de 2007 cambió su estado de bueno a normal en 2008. (Fig. 9b). Como se aprecia en la figura 9c los valores de FRS han sufrido un decremento en sus concentraciones, debido a que en las épocas de nortes y secas del 2007 presentaron una condición “mala”, las cuales pasaron a la condición “normal” en 2008. En relación a las concentraciones promedio de Sílice Reactivo Soluble, en 2007 para la época de secas (2.10 $\mu\text{mol/l}$) esta sufre un incremento (8.93 $\mu\text{mol/l}$) en 2008 cambiando su condición de normal a “mala” (Fig. 9d) y la clorofila-a, cuyo comportamiento se registro en la figura 9e presentó un decremento de valores promedio en secas de 2007 a 2008 pasando de malo a normal y en la época de secas se registro un incremento pasando de normal (2007) a mala (2008).

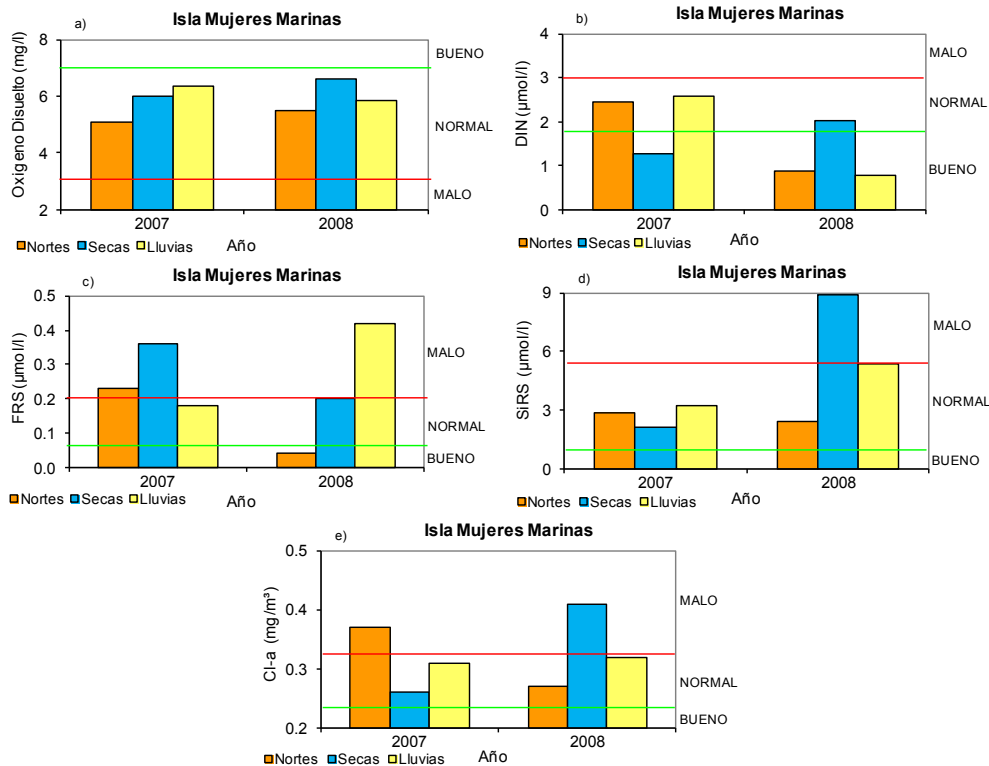


Figura 9. Distribución de a) Oxígeno disuelto, b) Nitrógeno Inorgánico Disuelto (DIN), c) Fósforo Reactivo Soluble (FRS), d) Sílice Reactivo Soluble (SiRS) y e) Clorofila-a (Cl-a) en las estaciones marinas del polígono de Isla Mujeres en 2007 y 2008.

4.1.1.2. Estaciones costeras

En la figura 10a, se aprecia que las concentraciones promedio de oxígeno han mantenido un comportamiento homogéneo en todas las épocas de 2007 y 2008 con un intervalo de 4.04 a 7 mg/l, con una condición en su mayoría de “normal (condición “mala”). Por lo que respecta al DIN (nitrógeno inorgánico disuelto = $\text{NO}_3 + \text{NO}_2 + \text{NH}_4$), esta variable registro una tendencia a disminuir y cambiar su condición en las épocas de nortes (mala) y lluvias (normal) del 2007 cambiando su condición a bueno en ambas épocas de 2008 (Fig. 10b). El análisis de la figura 10c presento que en las épocas de nortes y lluvias de 2007 para Fósforo Reactivo Soluble las concentraciones promedio fueron mayores a 0.3 $\mu\text{mol/l}$ para situarse en una condición “mala” y en el 2008 los valores decrecieron en nortes (0.09 $\mu\text{mol/l}$), lluvias (0.17 $\mu\text{mol/l}$) para ubicarse en una condición “buena” y “normal”, respectivamente. El SiRS presento un ligero decremento en los valores para todas las épocas climáticas de 2008 con relación a las épocas de 2007, pero en ambos años la condición se mantuvo siendo una condición “normal” (Fig. 10d) y el comportamiento de la clorofila-a, el cual se registro en la figura 10e fue de manera homogénea con valores promedio comprendidos entre 0.14 y 0.5 mg/m^3 con una condición de bueno-normal.

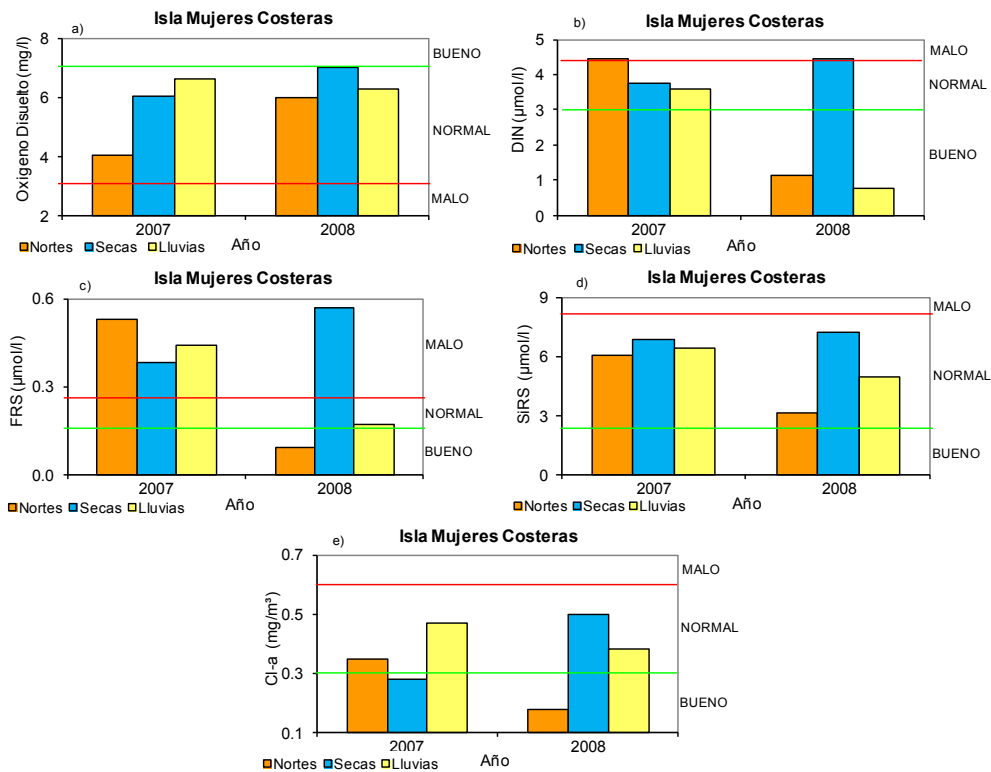


Figura 10. Distribución de a) Oxígeno disuelto, b) Nitrógeno Inorgánico Disuelto (DIN), c) Fósforo Reactivo Soluble (FRS), d) Sílice Reactivo Soluble (SiRS) y e) Clorofila-a (Cl-a) en las estaciones costeras del polígono de Isla Mujeres en 2007 y 2008

4.1.2. Punta Cancún

4.1.2.1. Estaciones marinas

Respecto a la figura 11a, esta muestra una tendencia del oxígeno a mantenerse de manera homogénea en 2007 y 2008 con valores promedio mayores a 6.44 mg/l, con una condición de “normal” a “bueno” en ambos años. Analizando la figura 11b, la cual corresponde al Nitrógeno Inorgánico Disuelto, en esta se observó un incremento en la época de lluvias de 2007 a 2008 cambiando de condición bueno a normal. El FRS presentó un decremento en la época de secas de 2007 a 2008 cambiando su condición de mala a normal y en lluvias un incremento pasando de normal (2007) a malo (2008) (Fig. 11c). La siguiente variable Sílice Reactivo Soluble (Fig. 11d) aumentó sus concentraciones en todas las épocas climáticas de 2007 a 2008, cambiando de bueno-normal a mala en todas las épocas de 2008 y los valores promedio de clorofila-a decrecieron ligeramente de 2007 al 2008, para ubicarse en una condición “normal” en todas las épocas de ambos años (Fig. 11e).

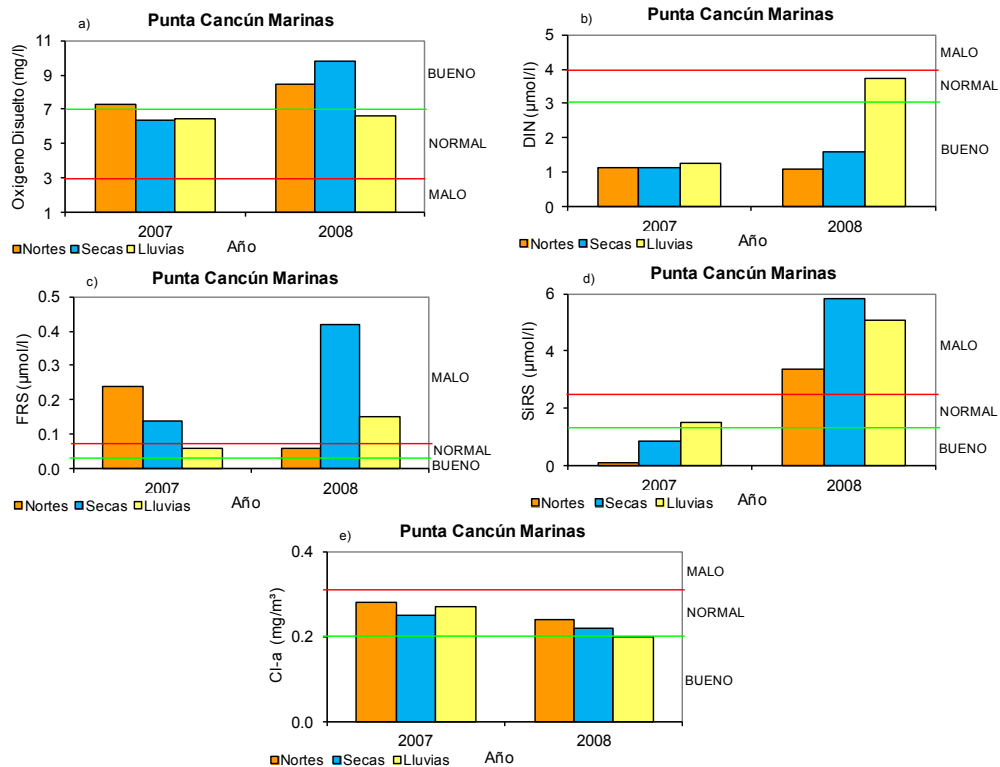


Figura 11. Distribución de a) Oxígeno disuelto, b) Nitrógeno Inorgánico Disuelto (DIN), c) Fósforo Reactivo Soluble (FRS), d) Sílice Reactivo Soluble (SIRS) y e) Clorofila-a (Cl-a) en las estaciones marinas del polígono de Punta Cancún en 2007 y 2008.

4.1.2.2. Estaciones costeras

El oxígeno disuelto presentó una tendencia a incrementarse de 2007 a 2008 reflejando una condición “normal” en 2007 e incrementándose en las épocas de nortes y secas (valores mayores a 9 mg/l) en 2008, con una condición “buena” en ambas épocas (Fig. 12a). En la figura 12b perteneciente a las concentraciones promedio del DIN se observó que los valores decrecieron de 2007 a 2008 en las épocas de nortes y secas, con valores menores a 1.1 $\mu\text{mol/l}$, pasando de una condición normal a bueno en ambas épocas. La tendencia a decrecer de las concentraciones promedio de Fósforo Reactivo soluble (FRS), se analizó en la figura 12c, ya que nortes de 2007 mantenía la condición mala y en 2008 cambio a bueno y en 2008 las concentraciones decrecen ligeramente con respecto al 2007 en las épocas de secas y lluvias manteniendo una condición “mala” y el SiRS, cuyo comportamiento se registro en la figura 12d presentando un decremento de valores promedio en nortes de 2007 a 2008, cambiando su condición de malo a normal. En relación a las concentraciones promedio de clorofila-a, se mantiene una ligera tendencia homogénea con una condición de normal-malo en 2007 y 2008 (Fig. 12e).

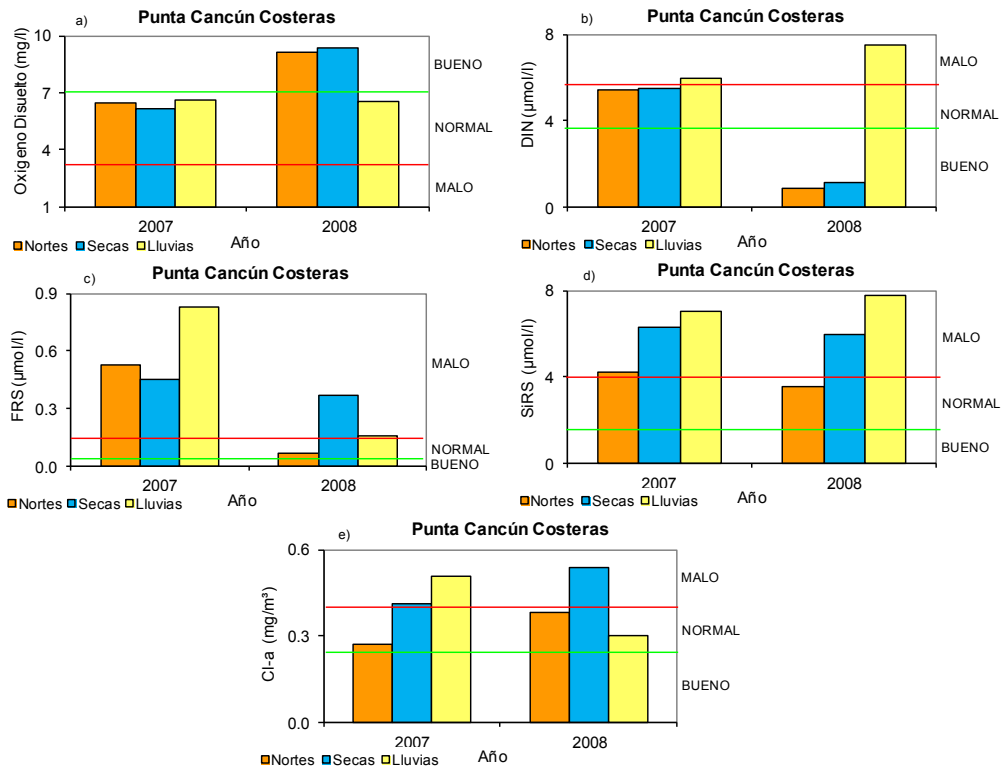


Figura 12. Distribución de a) Oxígeno disuelto, b) Nitrógeno Inorgánico Disuelto (DIN), c) Fósforo Reactivo soluble (FRS), d) Sílice Reactivo soluble (SiRS) y e) Clorofila-a (Cl-a) en las estaciones costeras marinas del polígono de Punta Cancún en 2007 y 2008.

4.1.3. Punta Nizuc

4.1.3.1. Estaciones marinas

El comportamiento homogéneo del oxígeno disuelto se observa en la figura 13a, registrando una condición “normal” en todas las épocas climáticas de ambos años (2007 y 2008). Los registros de DIN, en la figura 13b indican un disminución en 2008 cambiando la condición de normal-malo (2007) a bueno (valores menores a 2 $\mu\text{mol/l}$ en 2008). Realizando el estudio de este polígono, en la figura 13c, se observó que las concentraciones promedio de Fósforo Reactivo soluble (FRS) en nortes de 2007 presentaron un decremento en 2008 cambiando su condición de mala a bueno. En relación al Sílice Reactivo Soluble (SiRS), este presentó una tendencia a incrementarse de 2007 donde las tres épocas climáticas presentaron una condición “buena”, para después incrementarse en 2008 en las épocas de secas (8.51 $\mu\text{mol/l}$) y lluvias (7.06 $\mu\text{mol/l}$) con una condición “mala” en ambas épocas (Fig. 13d) y en la figura 13e, se observa que las concentraciones promedio de clorofila-a mantuvieron un comportamiento de decremento en todas las épocas con una condición “mala-normal” en 2007, para cambiar a una condición bueno-normal en 2008.

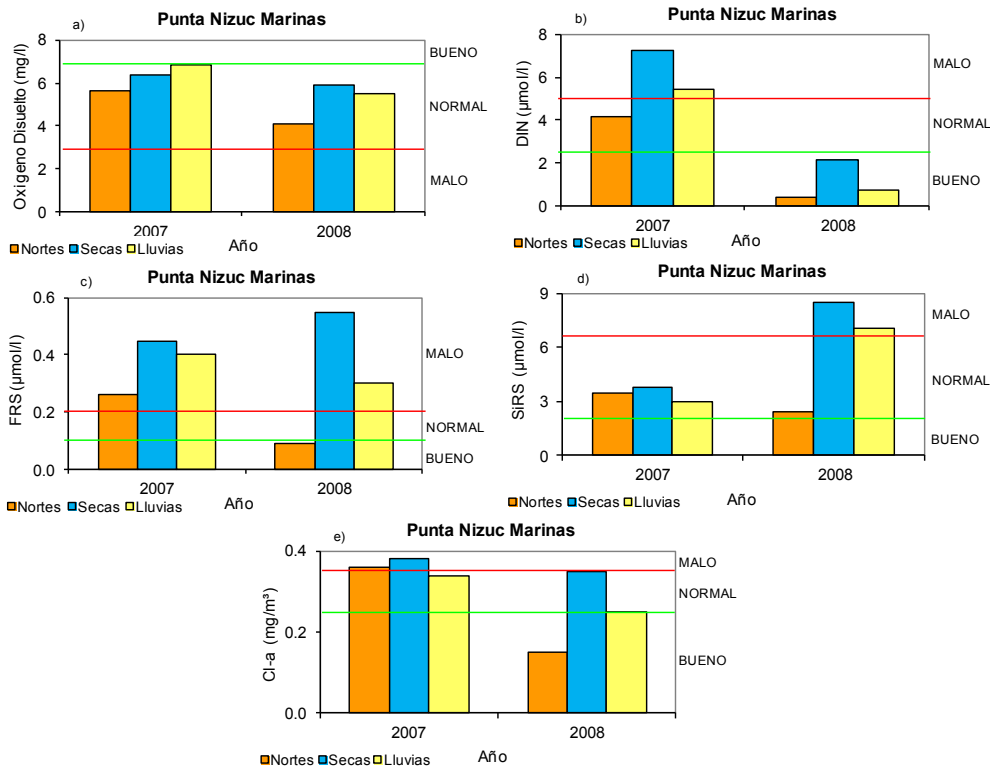


Figura 13. Distribución de a) Oxígeno disuelto, b) Nitrógeno Inorgánico Disuelto (DIN), c) Fósforo Reactivo soluble (FRS), d) Sílice Reactivo soluble (SiRS) y e) Clorofila-a (Cl-a) en las estaciones marinas del polígono de Punta Nizuc en 2007 y 2008.

4.1.3.2. Estaciones costeras

La siguiente variable, oxígeno disuelto (Fig. 14a) se comporto de manera similar en nortes y secas de 2007 y 2008 (condición normal), a excepción de lluvias de 2008 donde decrecieron los valores promedios cambiando de condición bueno (2007) a normal. Por lo que respecta al DIN, las tres épocas climáticas presentaron un decremento hacia 2008 cambiando su condición de mala en 2007 a una condición “buena” en 2008 en todas las épocas climáticas (Fig. 14b). Respecto a la figura 14c, esta muestra una tendencia del FRS a decrecer en la época de nortes con una condición de mala en 2007 cambiando a una condición normal en 2008, mientras que las épocas de secas y lluvias en 2007 y 2008 mantienen la condición mala. En el análisis del Sílice Reactivo soluble, el cual se observa en la figura 14d, registró una ligera tendencia a incrementarse de 2007 a 2008, manteniendo una condición mala en nortes y secas y la condición normal en lluvias en ambos años (2007 y 2008) y analizando la figura 14e, la cual corresponde a la clorofila-a, esta presento un decremento en las épocas de nortes y secas de 2008 pasando de una condición mala en ambas épocas de 2007 a una condición buena en nortes y normal en lluvias de 2008.

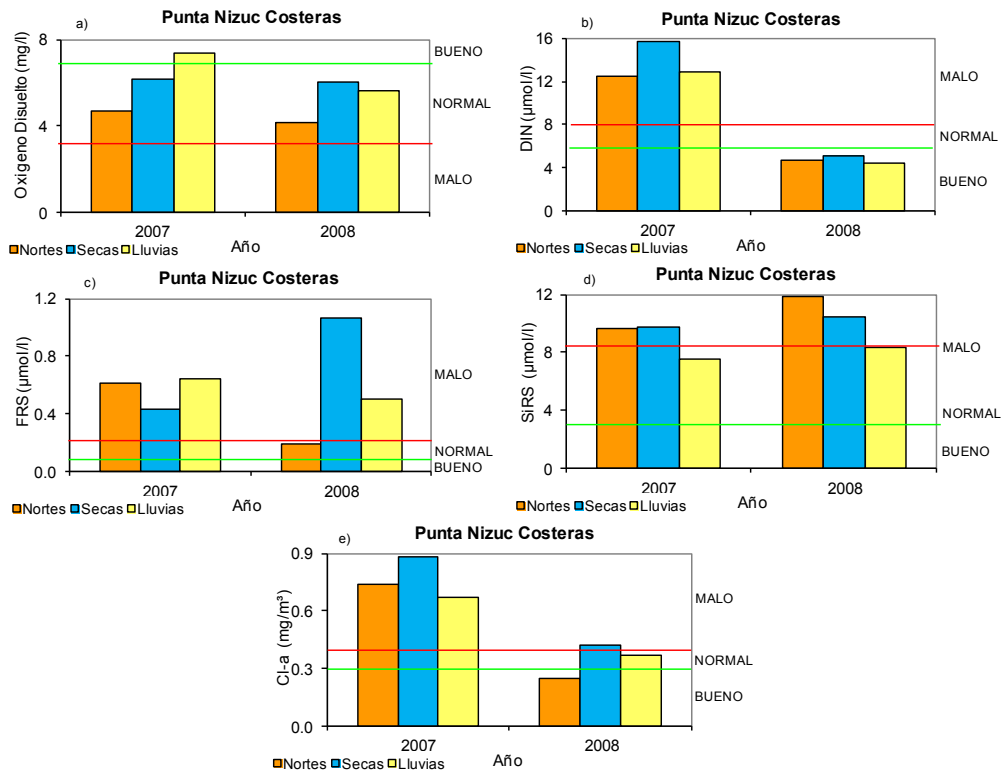


Figura 14. Distribución de a) Oxígeno disuelto, b) Nitrógeno Inorgánico Disuelto (DIN), c) Fósforo Reactivo soluble (FRS), d) Sílice Reactivo soluble (SiRS) y e) Clorofila-a (Cl-a) en las estaciones costeras del polígono de Punta Nizuc en 2007 y 2008.

4.2. Diagnóstico


El diagnóstico que mantiene cada estación en cada época de los diferentes años, no está comprometido en este informe final, sin embargo, se incluye con la finalidad de darle una herramienta actualizada a la dirección del Parque Marino.


Con la información obtenida de todos los sitios se procedió a determinar lo que serían los intervalos que definan la condición “normal” de los sistemas en función de las variables analizadas. El procedimiento se basó en las recomendaciones del reporte de “National Water Condition Report” (EPA, 2004).


El procedimiento consistió en calcular la mediana y los primeros intercuartiles con la serie de datos existentes. Los datos de las diferentes variables que estén en el intervalo de los cuartiles superiores e inferiores se consideraron en estado “regular/normal”. Las concentraciones de variables como coeficiente de extinción de luz, DIN, fosfatos, silicatos, y Cl-a que estuvieron por arriba de este intervalo se consideraron como la condición “mala” y las que estaban por debajo de él fueron la condición “buena”. En el caso de variables como el oxígeno disuelto, el orden fue inverso.

Para definir el estado global de cada polígono, se siguió el siguiente criterio:

Una vez que se obtuvo la condición (buena, regular/normal, mala/pobre) de las diferentes variables de la calidad del agua de cada polígono, la condición global se calificó con base a los 5 indicadores (DIN, Fosfatos, Silicatos, Clorofila-a, Oxígeno disuelto) usando la regla de decisión siguiente (EPA, 2004).

Buena : es la mejor condición que se pueda tener, son las condiciones excelentes de una estación o un sitio.

Regular/normal : es la condición normal, son las condiciones normales o estables (ideal) de una estación o un sitio.

Mala/pobre : es la peor condición que se pueda tener, son las condiciones malas de una estación o un sitio.

Los valores de referencia para las estaciones marinas y costeras para Isla Mujeres, Punta Cancún y Punta Nizuc, se pueden observar en las tablas de la 1 a la 5.

4.2.1. Isla Mujeres

En la época de nortes en Isla Mujeres se observó que las estaciones costeras 11 y 12 son las que en ambos años mantienen la condición mala, mientras que las estaciones 3, 4 y 9 ha mejorado su condición. Las estaciones 1, 5, 6, 8 y 10 mantienen una condición regular y las estaciones marinas (13, 14 y 15) y la estación 7 mantienen una condición buena en los dos años, el resto de las estaciones tiene una condición variable, cambiando de un año a otro (Fig. 15).

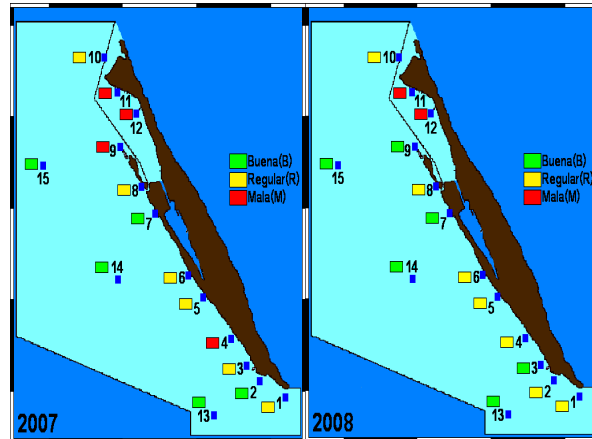


Figura 15. Condición global de Isla Mujeres en la época de nortes con las variables de calidad de agua en los años de 2007 y 2008.

En secas en Isla Mujeres en los años 2007 y 2008 se registró que las estaciones costeras 11 y 12 son las que mantienen la condición mala, lo que las hace las estaciones con mayor afectación con mala calidad. La condición regular la mantienen las estaciones 4, 7, 9 y 10, mientras que las estaciones marinas y las costeras 1, 6 y 8 presentaron la condición buena en los dos años y el resto de las estaciones tienen una condición que fue variable de 2007 a 2008 (Fig. 16).

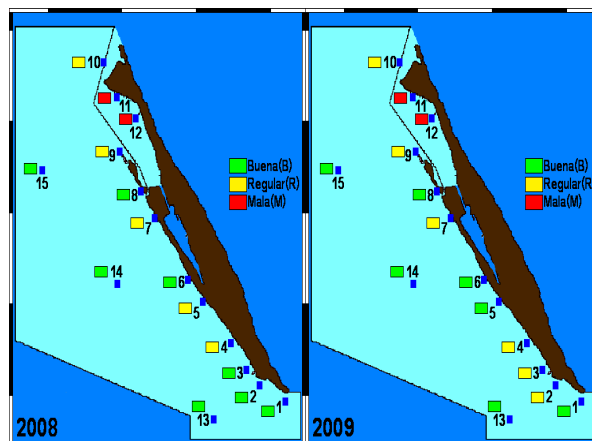


Figura 16. Condición global de Isla Mujeres en la época de secas con las variables de calidad de agua en los años de 2007 y 2008.

En la Figura 17 durante la época de lluvias en Isla Mujeres se observó que las estaciones costeras 5, 11 y 12 presentaron la condición mala, las estaciones 2, 3, 4, 7, 8 y 10 una condición regular, las estaciones 1, 13, 14 y 15 la condición buena en ambos años y las estaciones 6 y 9 cambiaron de condición mala en 2007 a regular en 2008.

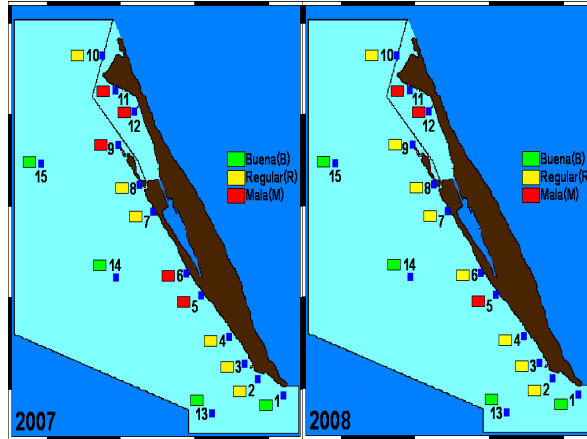


Figura 17. Condición global de Isla Mujeres en la época de lluvias con las variables de calidad de agua en los años de 2007 y 2008.

La condición general de las estaciones durante los dos años de estudio (2007 a 2008) en Isla Mujeres registro que en las estaciones costeras presentaron una condición buena con un 22.22%, regular con 25% y mala con 52.78% y en la estaciones marinas, se observaron con una condición buena en 100%.

4.2.2. Punta Cancún

En la época climática de nortes en Punta Cancún se observó que la estación costera 7 mantiene la condición mala en los dos años, las estaciones 5 y 11 la condición regular y las estaciones 1, 2, 3, 4, 8, 9, 12, 13, 14, 15, 16, 17 y 18 mantuvieron una condición buena en los dos años (Fig. 18).

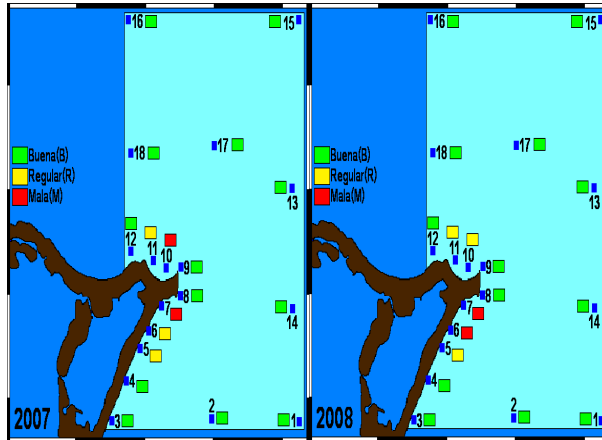


Figura 18. Condición global de Punta Cancún en la época de nortes con las variables de calidad de agua en los años de 2007 y 2008.

En Punta Cancún, en secas se registró que las estaciones costeras 6, 7 y 10 fueron las únicas que presentaron la condición regular en los dos años y la estación 3 cambió de regular en 2007 a buena en 2008 y las demás estaciones presentaron una condición buena en ambos años (Fig. 19).

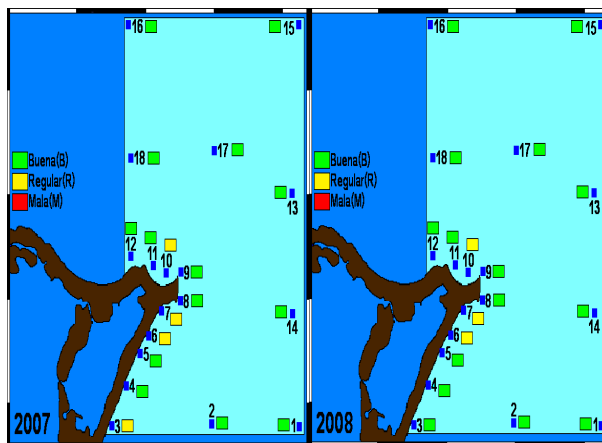


Figura 19. Condición global de Punta Cancún en la época de secas con las variables de calidad de agua en los años de 2007 y 2008.

En la época de lluvias en Punta Cancún se aprecia que la estación costera 10 fue la única que mantuvo una condición mala en ambos años, con una condición regular en los dos años las estaciones 5 y 6, la estación 7 cambio de regular en 2007 a mala en 2008 y las estaciones marinas (1, 2, 13, 15, 16 y 17) y las costeras 3, 4, 8, 9, 11 y 12 mantienen una condición buena en 2007 y 2008 (Fig. 20).

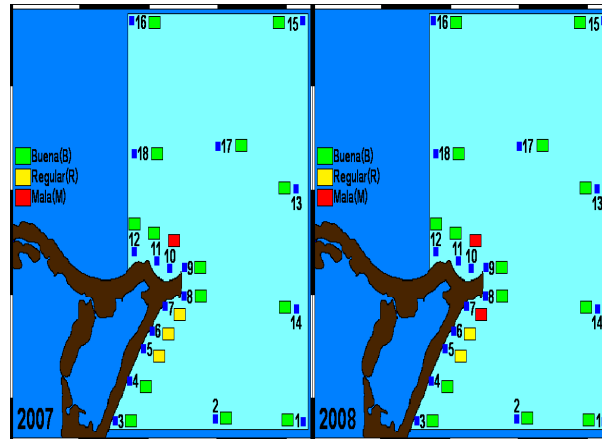


Figura 20. Condición global de Punta Cancún en la época de lluvias con las variables de calidad de agua en los años de 2007 y 2008.

En Punta Cancún la condición global (2007 y 2008) de las estaciones marinas registró un 100% en condición buena y en las costeras se observó una condición mala con 11.66%, condición regular 30% y el 58.34% con condición buena.

4.2.3. Punta Nizuc

En la Figura 21 durante la época de nortes en Punta Nizuc se observó que las estaciones costeras 1 y 2 presentaron en los dos años la condición mala, mientras que las estaciones 10, 14 y 15 registraron una condición regular, las estaciones marinas (4, 5, 6, 7, 8 y 16) y la estación costera 9 mantienen una condición buena y el resto de las estaciones presentaron condiciones variables de 2007 a 2008.

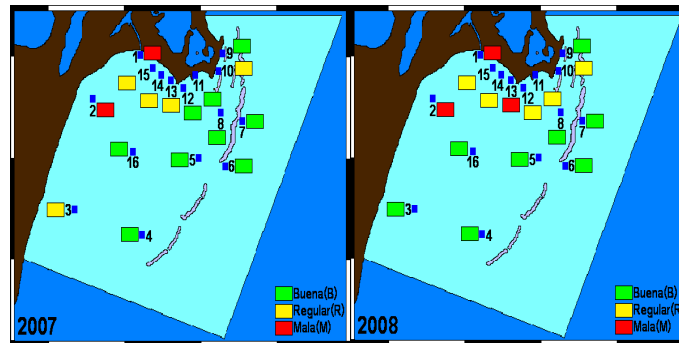


Figura 21. Condición global de Punta Nizuc en la época de nortes con las variables de calidad de agua en los años de 2007 y 2008.

En secas en Punta Nizuc se observa que las estaciones costeras 1 y 2 son las que mantienen la condición mala, las estaciones 3, 10, 11 y 14 mantienen una condición regular y las estaciones marinas y las costeras 9 y 13 mantienen una condición buena en ambos años. Debido a esto, la condición general de las estaciones costeras se concluye que es de buena a regular y de las estaciones marinas es buena (Fig. 22).

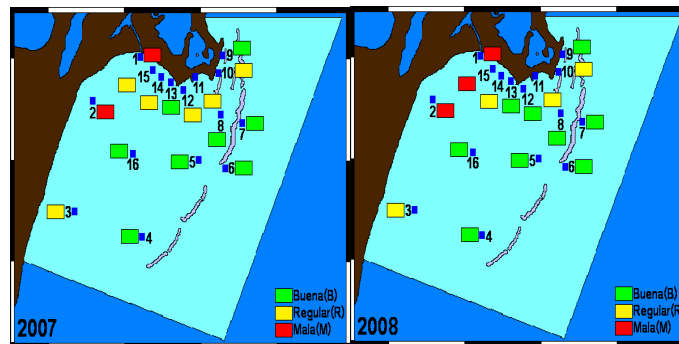


Figura 22. Condición global de Punta Nizuc en la época de secas con las variables de calidad de agua en los años de 2007 y 2008.

En esta época climática (lluvias) se puede observar la condición de las estaciones costeras, donde las estaciones 1 y 2 presentaron la condición mala, las estaciones 3, 9, 11 y 12 la condición regular y las estaciones 4, 5, 6, 7, 8 y 13 la condición buena en ambos años (Fig. 23).

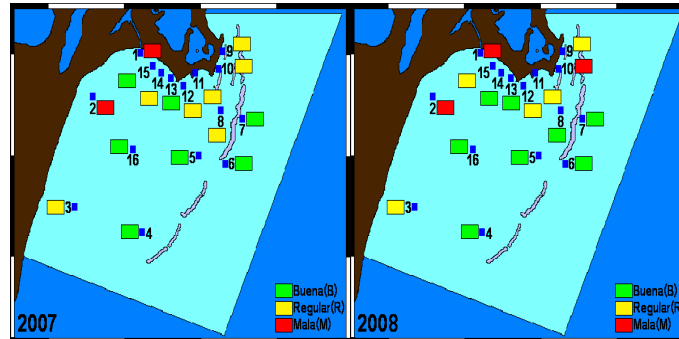


Figura 23. Condición global de Punta Nizuc en la época de lluvias con las variables de calidad de agua en los años de 2007 y 2008.

Los porcentajes de la condición en el polígono de Punta Nizuc se comportaron de la siguiente manera, en las estaciones marinas con una condición buena 100% y en las estaciones costeras, la condición buena se presentó en 21.67%, con 53.33% una condición regular y condición mala con 25%.

Esta información de diagnóstico se proporciona con la finalidad de que la Dirección del Parque tenga elementos de decisión que le permitan saber en donde canalizar acciones de manejo, dependiendo de las estaciones donde se presente el mayor daño o la peor condición en cada uno de los polígonos.

5. Conclusiones

En general, las condiciones de calidad del agua de los polígonos del Parque Marino de Cancún presentan diferencias espaciales. Las zonas con mayor influencia marina presentan condiciones de regular a buenas. Sin embargo, las zonas con mayor influencia terrestre y donde se desarrollan la mayor parte de las actividades recreativas dentro de los polígonos presentan condiciones promedio de regular a mala de acuerdo a su estado trófico, lo cual tiene implicaciones directas a la vida acuática y a los ecosistemas.

Se observan diferencias espaciales en la condición de calidad del agua de los polígonos del Parque Marino de Cancún, probablemente debido a las diversas fuentes de impacto (infraestructura turística) y condiciones ambientales (tiempo de residencia del agua) que favorecen menor calidad del agua. De acuerdo a lo anterior se recomienda tener presente la conectividad ecosistémica que hay principalmente entre los ambientes lagunares y los ecosistemas marinos.

En el polígono de Isla Mujeres en el muestreo de monitoreo de las épocas de nortes, secas y lluvias de 2007 en las estaciones marinas el oxígeno disuelto presentó una condición normal al igual que en estas épocas en 2008, el DIN registró un decremento en las épocas de nortes y lluvias y un incremento en secas del 2007 al 2008, manteniendo la condición bueno-normal en ambos años. El FRS presentó un incremento en la época de lluvias de 2008 por lo que su condición fue mala. El SiRS presentó un incremento en la época de secas del 2008 por lo que su condición fue mala y el comportamiento que se registró en la clorofila-a en las épocas de nortes fue de disminución colocándose en una condición “buena” y secas se incrementó pasando su condición a mala en 2008.

Respecto a las estaciones costeras del Polígono de Isla Mujeres, el oxígeno disuelto y SiRS en 2007 y 2008 registraron una tendencia a mantenerse en la condición “normal”, mientras que el DIN pasó de dos épocas en condición normal en 2007 a condición buena en 2008, la clorofila-a presentó dos épocas con condición normal y una época en condición buena en ambos años y el FRS en 2007 presentó una condición mala en las tres épocas climáticas para registrar un decremento y presentar solamente una época climática en condición mala en 2008.

En el caso del polígono de Punta Cancún, en las estaciones marinas el oxígeno disuelto y DIN registraron en 2007 una tendencia a incrementar sus concentraciones, pero se mantuvieron en la condición buena-normal en 2007 y 2008. El SiRS registró incremento de concentración en las épocas del 2008, cambiando una condición bueno normal de 2007 a condición mala en 2008. La clorofila-a presentó un decremento en sus concentraciones en todas las épocas de 2007 a 2008 manteniendo una condición “normal”.

En las estaciones costeras de Punta Cancún, el oxígeno disuelto en 2008 registró incremento en las épocas de nortes y secas para ubicarse en la condición “bueno”. Las épocas de nortes y secas del DIN de 2008 registraron decremento en sus concentraciones en relación al 2007 pasando de la condición normal (2007) a bueno en 2008, mientras que el FRS en la época de nortes pasó de la condición mala (2007) a normal (2008). Por lo que respecta a la condición de la clorofila-a, en lluvias del 2008 ésta registró un decremento en las concentraciones pasando de una condición mala observada en 2007 a una condición “normal” en 2008.

Por lo que respecta al polígono de Punta Nizuc, en las estaciones marinas el oxígeno disuelto en 2007 y 2008 mantiene la misma tendencia con una condición “normal”. El DIN en 2009 registro una condición normal-mala en 2007 sufriendo un decremento para cambiar su condición a bueno en las tres épocas del 2008. Respecto al FRS durante la época de nortes sufre un decremento para pasar de la condición mala en 2007 a la de bueno en 2008, mientras que en secas y lluvias se mantiene la condición de mala como en el año anterior. El SiRS presento un ligero incremento de sus concentraciones en secas y lluvias del 2008 para pasar de la condición normal de 2007 a mala de 2008 en ambas épocas. La clorofila-a registro un ligero decremento en una época (nortes) pasando de la condición mala de 2007 a buena en el 2008.

En relación a las estaciones costeras de Punta Nizuc, el oxígeno disuelto en la época de lluvias presento un ligero decremento hacia el 2008 presentando una condición buena en 2007 y cambiando a normal en 2008. El DIN en 2008 registro un decremento en todas las épocas climáticas pasando de la condición de 2007 de mala a bueno en 2008. El FRS, presento un decremento de sus concentraciones en la época de nortes pasando de una condición mala (2007) a una normal (2008). Para el SiRS en 2009, las concentraciones de la época de nortes se incrementaron ligeramente pero manteniendo la misma condición en ambos años (nortes y secas condición mala y lluvias en normal) y mientras que la clorofila-a registro un decremento en nortes y lluvias, pasando de una condición mala (2007) a buena y normal en nortes y lluvias del 2008.

A la luz de los resultados de los muestreos (nortes, secas y lluvias) del monitoreo 2007 y 2008 de los polígonos del Parque Marino de Cancún, se observa que los polígonos de Isla Mujeres y Punta Nizuc han sufrido un ligero deterioro respecto a los resultados de las épocas del año 2007, mientras que Punta Cancún se mantiene en la misma condición respecto al año 2008.

La condición global de los polígonos en este periodo de estudio demostró que los polígonos de Isla Mujeres y Punta Nizuc en sus estaciones costeras presentaron una condición mala, siendo Punta Cancún el único polígono que registro una condición “buena” en sus estaciones costeras y los tres polígonos en sus estaciones marinas presentaron una condición buena.

Los incrementos en las concentraciones de algunos nutrientes en el agua podrían tener efectos en los componentes biológicos del ecosistema, por lo que se recomienda por una parte, mantener el programa de monitoreo de los pastos marinos de los polígonos, y por otra, aumentar dentro de las variables de este componente el contenido elemental (N, P) en la hojas, y en la medida de lo posible medir la concentración de isótopo de Nitrogeno¹⁵ en las hojas. Estas variables han probado ser buenas indicadoras del efecto que tienen los nutrientes disueltos en el agua sobre la comunidad de pastos marinos, como una medida de reconocer problemas de eutrofización en los ecosistemas costeros, proceso que impacta negativamente a los ambientes arrecifales.

Actualmente, este es la única ANP de la Región que cuenta con monitoreo de la calidad del agua para la vida acuática. La cooperación entre el personal del Parque y el grupo de trabajo del laboratorio de Producción Primaria del CINVESTAV ha sido fundamental para este informe.

6. Literatura citada

Álvarez-Góngora C. and Herrera-Silveira J. A. 2006. Variations of phytoplankton community structure related to water quality trends in a tropical karstic coastal zone. *Marine Pollution Bulletin*. Volume 52, Issue 1, January 2006, Pages 48-60.

Carruthers, T. J. B., B.I. Van Tussenbroek y W.C.Dennison. 2005. Influence of submarine springs and wastewater on nutrient dynamics of Caribbean seagrass meadows. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 64: 191-199

Cortés Balán T. O., 2006. Hidrología y Condición Trófica De La Columna Del Agua en el Parque Marino Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Punta Nizuc, Quintana Roo". Tesis de Maestría Centro De Investigación y De Estudios Avanzados Del Instituto Politécnico Nacional. Unidad Mérida. Laboratorio de producción Primaria. Departamento De Recursos Del Mar. Mérida, Yucatán, México. 86 pp.

Epstein, 1998. Marine ecosystems: emerging diseases as indicators of change. Special Report on Health of the Oceans. NOAA/OGP/NASA/Harvard Medical School, 85 pp.

Herrera-Silveira J., 1998. Nutrient phytoplankton production relationship in a groundwater influenced tropical coastal lagoon. *Aquatic ecosystem health and management society*, 1: 373-385 pp.

Herrera-Silveira, J. A. 2006. Lagunas costeras de Yucatán (SE, México): investigación, diagnóstico y manejo. *Ecotrópicos* 19(2):94-108.

Herrera-Silveira, J. A., Cortés Balán, T. O., Ramírez Ramírez, J., Cámara Ramos, J., Trejo Peña J., Osorio, I., Alvarado, E., y Zaldivar T. 2008a. "MONITOREO DE LA CONDICIÓN TRÓFICA DE LA COLUMNA DEL AGUA DE LOS AMBIENTES COSTEROS DEL PARQUE MARINO COSTA OCCIDENTAL DE ISLA MUJERES, PUNTA CANCÚN Y PUNTA NIZUC: PRIMERA ETAPA". Proyecto FQ004 CINVESTAV-CONABIO-CONANP, Informe Final, 64pp.

Jeffrey S. W., Mantoura R. F. C. and Wright S. W. 1997. *Phytoplankton pigments in oceanography*. Unesco, Paris

Parson T. R., Y. Maita, y C.M. Lalli. 1984. *A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawaters Analysis*, Second Edition, Pergamon Press, Oxford, England

Reyes, E. y Merino, M. 1991. Diel dissolved oxygen dynamics and Eutrophication in a shallow, well-mixed tropical lagoon (Cancún, México). *Estuaries* Vol. 14. No. 4: 372-381 pp.

Strickland, J. D. and Parsons, T. R. 1972. *A Practical Handbook of Sea Water Analysis*. Fish. Res. Board. Canada Bull. 122 :311.

USEPA (United States Environmental Protection Agency), 1992. *An Updated Summary of Status and Trends in Indicators of Nutrient Enrichment in the Gulf of México*. Office of Water, gulf of México Program, United States of America, 272 pp.